

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 004.94:519.8:658.8

КОНЦЕПТУАЛЬНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНОГО РИЗИКУ ІНФОРМАЦІЙНО-МЕРЕЖНОЇ ЕКОНОМІКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТАРІЮ ПРИРОДНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

© 2016 ВІТЛІНСЬКИЙ В. В., СКИЦЬКО В. І.

УДК 004.94:519.8:658.8

Вітлінський В. В., Скіцько В. І.

Концептуальні аспекти моделювання логістичного ризику інформаційно-мережної економіки з використанням інструментарію природних обчислень

Інформаційно-комунікаційні засоби та технології дедалі більше змінюють повсякденне життя людей і бізнес-процеси в господарській діяльності, насамперед у сфері логістики. Зокрема, інноваційний характер таких змін зумовлює виникнення нових логістичних ризиків, зміну сутності існуючих і т. п., що потрібно враховувати при управлінні логістичними системами різного рівня. Окрім того, для сьогодення дедалі актуальною стає проблема Великих Даних, які, з одного боку, здатні підвищити обґрунтованість прийняття управлінських рішень, з іншого – вони (Великі Дані) вимагають сучасного інструментарію їх здобуття, обробки й аналізу. Таким інструментарієм можуть бути методи та моделі природних обчислень. У роботі коротко розглянуті основи мурашиних і бджалиних алгоритмів, методу рою часток, штучної імунної системи, окреслені можливості їх використання у моделюванні різних видів логістичного ризику, для умовного прикладу наведено формалізацію задачі моделювання логістичного ризику з використанням штучної імунної системи.

Ключові слова: логістичний ризик, інформаційно-мережна економіка, природні обчислення, колективний штучний інтелект, Індустрія 4.0, Великі Дані.

Бібл.: 25.

Вітлінський Вальдемар Володимирович – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри економіко-математичного моделювання, Київський національний економічний університет ім. В. Гетьмана (пр. Перемоги, 54/1, Київ, 03068, Україна)

E-mail: wite101@meta.ua

Скіцько Володимир Іванович – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри економіко-математичного моделювання, Київський національний економічний університет ім. В. Гетьмана (пр. Перемоги, 54/1, Київ, 03068, Україна)

E-mail: skitsko.kneu@gmail.com

УДК 004.94:519.8:658.8

UDC 004.94:519.8:658.8

Витлинский В. В., Скицко В. И. Концептуальные аспекты моделирования логистического риска информационно-сетевой экономики с использованием инструментария естественных вычислений

Vitlinskyy V. V., Skitsko V. I. Conceptual Aspects in the Modeling of Logistical Risk of the Networked Information Economy with the Use of Tools of Natural Computing

Информационно-коммуникационные средства и технологии все больше изменяют повседневную жизнь людей и бизнес-процессы в хозяйственной деятельности, прежде всего в сфере логистики. В частности, инновационный характер таких изменений обуславливает возникновение новых логистических рисков, изменение сущности существующих и т. п., что нужно учитывать при управлении логистическими системами различного уровня. Кроме того, все более актуальной становится проблема Больших Данных, которые, с одной стороны, способны повысить обоснованность принятия управленческих решений, с другой – они (Большие Данные) требуют современного инструментария их получения, обработки и анализа. Таким инструментарием могут быть методы и модели естественных вычислений. В работе кратко рассмотрены основы муравьиных и пчелиных алгоритмов, метода роя частиц, искусственной иммунной системы, показаны возможности их использования в моделировании различных видов логистического риска, для условного примера приведена формализация задачи моделирования логистического риска с использованием искусственной иммунной системы.

Information and communication tools and technologies are rapidly changing daily lives of people and business processes in economic activity primarily in the field of logistics. In particular, the innovative nature of these transformations leads to the emergence of new logistical risks, changing the essence of the existing ones, which needs to be taken into account in the management of logistics systems at various levels. Besides, the problem of Big Data has become increasingly urgent, which, on the one hand, can improve the validity of making managerial decisions, on the other hand – they (Big Data) require modern tools for their production, processing and analysis. As such tools there can be used methods and models of natural computing. In the paper the basics of ant and bee algorithms, the particle swarm method, artificial immune systems are summarized; the possibilities of their application in the modeling of various types of logistical risk are demonstrated, the formalization of the problem of risk modeling with the use of an artificial immune system being given as a conditional example.

Keywords: logistical risk, networked information economy, natural computing, collective artificial intelligence, Industry 4.0, Big Data.

Bibl.: 25.

Vitlinskyy Valdemar V. – Doctor of Science (Economics), Professor, Head of the Department of Economic and Mathematical Modeling, Kyiv National

Ключевые слова: логистический риск, информационно-сетевая экономика, естественные вычисления, коллективный искусственный интеллект, Индустрия 4.0, Большие Данные.

Библ.: 25.

Витлинский Вальдемар Владимирович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономика-математического моделирования, Киевский национальный экономический университет им. В. Гетьмана (пр. Победы, 54/1, Киев, 03068, Украина)

E-mail: wite101@meta.ua

Скицко Владимир Иванович – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономика-математического моделирования, Киевский национальный экономический университет им. В. Гетьмана (пр. Победы, 54/1, Киев, 03068, Украина)

E-mail: skitsko.kneu@gmail.com

Economic University named after V. Hetman (54/1 Peremohy Ave., Kyiv, 03068, Ukraine)

E-mail: wite101@meta.ua

Skitsko Volodymyr I. – Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economic and Mathematical Modeling, Kyiv National Economic University named after V. Hetman (54/1 Peremohy Ave., Kyiv, 03068, Ukraine)

E-mail: skitsko.kneu@gmail.com

Постановка проблеми. Сьогодні характеризується широким використанням інформаційно-комунікаційних засобів і технологій, розвиток яких із кожним роком лише пришвидшується, дедалі більше змінюючи повсякденне життя людей і бізнес-процеси в господарській діяльності. Наприклад, раніше підключення до Інтернету було можливе лише з використанням мереж стаціонарного зв'язку через точки підключення, які мали чітко визначене фізичне місце. З розвитком технологій з'явилась можливість підключатися до Інтернету за допомогою мобільних мереж зв'язку, збільшився обсяг інформації, який може бути переданий за одиницю часу, з'явилися нові комунікаційні засоби з новими можливостями (смартфони, планшети, різні гаджети тощо). Окрім того, у звичних побутових пристроях також з'явилися можливості підключення до Інтернету (телевізор, холодильник, годинники, лампочки тощо), що дозволяє керувати ними через Інтернет, отримувати різну інформацію тощо. Інтернет є мережею, яка наразі об'єднує не лише комп'ютери (як це було спочатку), а майже всі пристрої, в яких інформація може бути представлена в електронному вигляді. Все це зумовило появу нового тренду економіки «Індустрія 4.0», що передбачає зміни і промисловості, які будуть мати суттєвий вплив на всі процеси в економіці та суспільстві. Зокрема, завдяки Інтернету речей та промислового Інтернету речей усі пристрої, які нас оточують у повсякденному житті та в промисловості, будуть взаємодіяти один із одним без участі людини, що суттєво змінить насаперед бізнес-процеси у логістиці. А інноваційний характер таких змін зумовить виникнення нових логістичних ризиків, зміну сутності існуючих, що потрібно буде враховувати в моделюванні управління логістичними системами різного рівня.

Однією зі складових частин в управлінні логістичним ризиком є його моделювання. У сфері моделювання, завдяки збільшенню обчислювальних потужностей комп'ютерів, також відбуваються зміни, зокрема, розвиток інструментарію природних обчислень, який частково також відносять до колективного штучного інтелекту. Цей інструментарій, на нашу думку, може бути застосований для вирішення різних складних, слабо структурованих або неструктурованих, багатокритеріальних і багатоцільових завдань щодо управління логістичним ризиком інформаційно-мережної економіки. Це потребує системних досліджень, зокрема, окреслення завдань в управлінні різними логістичними ризиками, для вирішення яких застосування того чи іншого інструментарію буде ефективним. Важливим етапом

є також формалізація таких задач з метою використання конкретного інструментарію моделювання тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальність проблеми управління та моделювання логістичного ризику підтверджується, зокрема, тим фактом, що, починаючи з 2013 року за версією щорічника Allianz Risk Barometer [1–3], серед глобальних ділових ризиків перше місце незмінно посідають ризики, пов'язані з порушенням перебігу бізнес-процесів, зокрема, логістичних ланцюгів постачання. Це підтверджується й значною кількістю робіт, які присвячені різним проблемам управління та моделювання логістичних ризиків, деякі із яких ми зазначали та досліджували у [4]. Проте проблемам функціонування логістики в умовах нової економіки (інформаційно-мережної економіки, електронної економіки, цифрової економіки, інтернет-економіки) в контексті Індустрії 4.0 присвячено обмаль робіт та ще менша кількість – проблемам управління та моделювання логістичного ризику за аналогічних умов. Значний обсяг робіт щодо дослідження функціонування логістики за сучасних умов розвитку суспільства та економіки складають роботи зарубіжних науковців і фахівців, зокрема: А.-В. Шеєра, К. Шваба, Т. Гульсмана та ін. [5–8]; серед вітчизняних привертає увагу робота М. Ю. Григорак [9]. Управлінню ризиком логістичного ланцюга постачання в умовах Індустрії 4.0 присвячено, зокрема, роботу [10].

Моделювання логістичного ризику з використанням інструментарію природних обчислень є сферою наукових і практичних досліджень, у якій значну частку складають роботи, які можна віднести до моделювання ризиків збуту та транспортних логістичних ризиків із використанням мурашиних алгоритмів, зокрема [11; 12]. Проте моделювання інших видів логістичного ризику з застосуванням природних обчислень залишається сферою, яка потребує ґрунтовних і системних досліджень.

Мета роботи полягає у дослідженні різних аспектів моделювання логістичного ризику в умовах сучасних структурних зсувів в інформаційно-мережній економіці та посилення зовнішніх і внутрішніх збурень і загроз за допомогою інструментарію природних обчислень.

Основні результати дослідження. Моделювання як універсальний метод наукового пізнання є процесом побудови, вивчення та застосування моделей, тобто об'єктів, які замінюють об'єкт-оригінал та відображають найважливіші його риси та властивості для певних цілей дослідження [13]. Якщо йдеться про математичну модель, то мають на увазі деяку абстракцію реальності, в якій відношення (вза-

емодія) між елементами реального світу відображаються у вигляді рівнянь (нерівностей), а самі елементи реального світу відображаються у вигляді деяких показників (змінних і параметрів).

Логістичний ризик – це економічна категорія, яка відображає особливості сприйняття зацікавленими економічними суб'єктами (наприклад, в логістичному ланцюзі постачання це може бути менеджмент підприємств-учасників досліджуваного ланцюга) об'єктивно існуючих невизначеності та конфліктності, відсутності повної (вичерпної) інформації на момент прийняття рішень, які притаманні процесам прогнозування, планування, управління, координації та контролю матеріальних, сервісних, інформаційних, фінансових потоків та потоку інтелектуально-трудова ресурсів [4].

Ґрунтуючись на [14, с. 80–83], можна стверджувати, що логістичний ризик має діалектичну суб'єктивно-об'єктивну структуру. Об'єктивність логістичного ризику виявляється в тому, що завжди існує деякий ступінь невизначеності та конфліктності (розбіжності цілей) серед учасників логістичного ланцюга постачання між їх складовими елементами та цілями розглядуваної системи загалом, що може призвести до виникнення різного роду збитків. Зокрема, прояв об'єктивної складової логістичного ризику, пов'язаний з результатом завершення процесів постачання продукції через логістичний ланцюг постачання (наприклад, виробник не може бути впевненим, так само, як і покупець, що продукція від виробника дійде до споживача не ушкодженою); стабільністю роботи обладнання на виробництві, транспорту, інформаційно-комунікаційного обладнання тощо. Суб'єктивність логістичного ризику проявляється через можливе відхилення від цілей логістики щодо доставляння деякому конкретному споживачеві необхідної продукції в необхідній йому кількості та відповідної якості в узгоджене місце за домовлений інтервал часу за мінімальних витрат на таку доставку [15]. Такі відхилення можуть бути як небажаними (наприклад, фактичний час доставляння перевищив нормативний; продукція виявилась неналежної якості або поставлена в недостатній кількості тощо), так і перевищувати очікування (наприклад, фактичний час доставки був менший за нормативний; фактичні витрати на доставляння були меншими за нормативні тощо). Досягнення цілей логістики деякою мірою залежить від поведінки персоналу підприємств-учасників логістичного ланцюга постачання, їхнього вміння обрати правильний варіант рішення серед альтернативних у процесі вирішення різних логістичних проблем. Це також можна віднести до суб'єктивності логістичного ризику.

Логістичний ризик – це збірне поняття, яке містить ризики за видами логістичних потоків (матеріальний, сервісний, інформаційний, фінансовий, інтелектуально-трудова логістичний ризик), ризики логістичних підсистем у цілому (закупівельний, виробничий, збуту, складський, транспортний логістичний ризик), ризики окремих елементів логістичних підсистем [4]. Моделювання логістичних ризиків різного рівня агрегації потребує також використання економічних показників відповідного рівня функціонування логістичної системи (логістичного ланцюга постачання).

Логістичний ризик є економічною категорією, яку, з одного боку, відносно легко оцінити, тобто визначити його кількісну міру (наприклад, якщо під проявом логістичного ризику розуміють збитки від повернення неякісної продукції, непередбачені витрати на доставляння продукції тощо), з іншого – дещо утруднено, зокрема, якщо йдеться про проблему врахування у прийнятті рішень, що обтяжені ризиком, психологічних особливостей суб'єкта прийняття рішень (його сприйняття логістичного ризику), врахування непередбачуваних подій, які можуть вплинути на логістичні процеси (наприклад, значне погіршення погодних умов може суттєво збільшити час доставляння продукції) тощо. Окрім того, дані, які використовуються для оцінювання логістичного ризику, можуть бути неструктурованими, мати різні шкали оцінювання, неповними тощо.

Сучасні інформаційно-мережні засоби та технології надають можливість, зокрема, зберігати значні обсяги даних в електронному (цифровому) виді, які можуть бути враховані у прийнятті рішень; використовувати складні економіко-математичні моделі з великою кількістю показників і параметрів, що може значно підвищити точність оцінювання досліджуваних економічних показників, зокрема, логістичного ризику; підтримувати миттєвий зв'язок між усіма економічними суб'єктами та використання ними необхідної доступної інформації, інструментарію для прийняття ефективних рішень тощо. З іншого боку, «центри» прийняття рішень в логістиці за умов інформаційно-мережної економіки можуть бути не чітко визначеними, і на рівні управління логістичними ланцюгами постачання необхідно чітко розмежовувати відповідальність за прийняті рішення між учасниками ланцюгів, попри вседоступність деякою мірою інформації в таких ланцюгах для їх учасників. Окрім того, широке використання інформаційно-мережних засобів і технологій змінює структуру логістичного ризику (тобто з'являються нові види логістичних ризиків, які пов'язані з інноваційними технологіями), взаємозв'язок між різними видами логістичних ризиків стає більш тісним.

Хоча традиційні (класичні) підходи щодо моделювання логістичного ризику можуть бути використовувані й надалі з урахуванням відповідних змін, проте існує потреба в розробленні, апробації та впровадженні нових засобів із використанням сучасного інструментарію моделювання, до якого можна віднести й засоби природних обчислень, деякі із яких об'єднані в такий напрямок, як колективний (роевий) штучний інтелект (анг. Swarm Intelligence): мурашиний алгоритм, бджолиний алгоритм, метод рою часток, штучна імунна система тощо. У природі живі істоти здатні колективно й ефективно вирішувати складні задачі, тому й математичні моделі, які побудовані з урахуванням способів поведінки таких істот, також мають бути ефективними й адекватними, зокрема, для розв'язання різних оптимізаційних задач [16].

Розглянемо сутність і можливості застосування математичних моделей природних обчислень у моделюванні логістичного ризику.

Підґрунтям *мурашиних алгоритмів* є поведінка мурах у процесі пошуку шляху від мурашника до джерела їжі, рухаючись до якого вони позначають свій шлях спеці-

альною речовиною – феромоном, а в процесі вибору шляху руху обирають той, на якому концентрація феромону є вищою [17]. Зі збільшенням кількості мурах, які рухаються деяким шляхом, підвищується й концентрація феромону на цьому шляху та ймовірність того, що його оберуть інші мурахи, перед якими постане проблема вибору [17]. Згодом значна частина мурах буде рухатись лише одним шляхом, який, за деяких умов, може виявитися найкоротшим [17]. Наразі існує низка моделей мурашиних алгоритмів (модель мурашиної системи; мурашиний алгоритм упорядкування об'єктів; модель системи мурашиних колоній; модель елітної або максимінної мурашиної системи), за допомогою яких вирішується, зокрема: задача комівояжера, транспортна задача, задача про призначення (задача про розфарбування графа), складання розкладів, задача про складання рюкзака, задача відбору інформативних ознак тощо [16; 17]. У загальному випадку мурашиний алгоритм доцільно використовувати для вирішення дискретних оптимізаційних задач у динамічних системах великої розмірності, проте існують різні додаткові процедури, які, створюючи гібридні системи на підґрунті мурашиних алгоритмів, дозволяють розв'язувати також неперервні оптимізаційні задачі [16].

Бджолиний алгоритм відображає природний процес пошуку бджолами нектару, який можна описати так [18]:

- 1) задана кількість бджіл-розвідників випадковим чином знаходить області (місця, території) з максимальною концентрацією нектару, інформуючи про це одну одну;
- 2) бджоли-розвідники повертаються до вулика, аналізують результати власних пошуків і визначають області з максимальними концентраціями нектару, до яких будуть спрямовані бджоли-робітники (формується своєрідний рейтинг, де перше місце займає територія з максимальною концентрацією нектару, а останнє – з мінімальною);
- 3) залежно від рейтингу знайдених територій концентрації нектару вилітає деяка кількість бджіл-робітників (в місця з вищою концентрацією нектару вилітає більша кількість бджіл-робітників);
- 4) бджоли-розвідники знову випадковим чином знаходять області з максимальною концентрацією нектару;
- 5) бджоли-робітники, збираючи нектар на заданій території, можуть бути перенаправлені на інші території, де концентрація нектару буде вищою, ніж на цій території;
- 6) усі бджоли постійно обмінюються інформацією між собою;
- 7) у результаті пошуків усі бджоли опиняться на деякій території з найбільшою концентрацією нектару.

Існують різні модифікації бджолиних алгоритмів (метод системи бджіл, метаевристичний метод бджолиної колонії, метод нечіткої бджолиної системи), за допомогою яких, зокрема, були розв'язані задачі [16]: 1) задача календарного планування деякої множини робіт, які містять певні операції, що виконуються з використанням певного устаткування. Метою планування є мінімізація (максимізація)

ступеня виконання, що включає: завантаження устаткування, час виробничого циклу, продуктивність, рівень запасів; 2) задача комівояжера; 3) задача про складання пари; 4) багатовимірна оптимізація; 5) задачі розподілу ресурсів (зокрема, транспортна задача); 6) задачі комбінаторної оптимізації тощо. У загальному випадку бджолині алгоритми можуть бути застосовані для вирішення дискретних і неперервних оптимізаційних задач динамічних систем [16].

У моделюванні логістичного ризику мурашині та бджолині алгоритми мають подібні можливості використання. Зокрема, вони можуть бути використані: у дослідженнях логістичних ризиків, що пов'язані з переміщенням продукції по всьому логістичному ланцюзі постачання, у межах складських приміщень; у дослідженнях ризиків електронної логістики; у вирішенні задач ранжування чинників логістичного ризику за ступенем їх прояву; ранжування ризиків щодо їх впливу на результат логістичної діяльності; у вирішенні задачі класифікації та кластеризації логістичних ризиків за різними ознаками тощо.

Метод рою часток відображає природне колективне поведіння іншого виду живих істот. Основою цього методу вважають *імітаційну модель Рейнольдса*, яка описує поведінку зграї птахів, для якої характерна відсутність єдиного центру управління щодо загального поведіння пташок, що дозволяє досягти деякої мети, дотримуючись таких принципів: 1) кожна пташка намагається не наближуватися до іншої на відстань, меншу від деякої заданої величини (виконання цього принципу дозволяє пташкам не зіштовхнутися у польоті); 2) кожна пташка намагається обрати свій вектор швидкості, який є найбільш близьким до середнього вектора швидкості серед усіх птахів у своєму локальному околі (цей принцип координує швидкість і напрямок руху); 3) кожна пташка намагається розташуватися в геометричному центрі маси свого локального околу (цей принцип змушує кожен пташку не відриватися від зграї) [19; 20].

Класичний алгоритм рою часток моделює багатоагентну систему, де агенти-частки рухаються до оптимального рішення, обмінюючись між собою інформацією [20; 21]. Роботу цього алгоритму можна описати такими кроками: 1) створення (ініціалізація) рою часток; 2) знаходження найкращого рішення для кожної частки; 3) знаходження кращого рішення серед усіх часток; 4) корекція швидкості кожної частки; 5) переміщення кожної частки; 6) перевірка виконання критерію зупинки алгоритму (якщо критерій виконується, то виконання алгоритму завершується, інакше відбувається перехід до другого кроку, а отже, подальша покрокова робота алгоритму) [21]. Поточний стан частки характеризується координатами точки (деякого рішення) в області допустимих рішень і вектором швидкості її переміщення, які обираються випадково на першому кроці роботи алгоритму [20; 21]. Також кожна частка зберігає координати найкращого знайденого нею та роєм рішення [20; 21].

Область визначення функції, яка підлягає оптимізації з використанням методу рою часток, повинна бути неперервною, тобто цей метод не можна застосувати для задач дискретної оптимізації, проте існує низка варіантів вирішення цієї проблеми, що дозволяє, зокрема, виокре-

мити простір рішень від простору швидкостей часток, що, зокрема, дозволяє розв'язати задачу оптимізації в дискретному просторі рішень [19].

Штучна імунна система здатна виконувати великий обсяг складних паралельних обчислень, має потужні та гнучкі можливості децентралізованої обробки інформації, в ній реалізовані механізми самоорганізації, навчання, пам'яті та асоціативного пошуку [22–24]. У штучних імунних системах можливе рішення задачі представляється антитілом, афінність якого визначає його близькість до оптимального значення [23]. До сфер застосування штучних імунних систем відносять: когнітивні моделі; розпізнавання образів; виявлення аномалій і несправності; самоорганізацію; штучний колективний інтелект; оптимізацію; кібербезпеку; добування даних та інформації; виявлення підробок; обробку сигналів і зображень тощо [22].

Значна кількість задач у сфері логістики є багатокритеріальними та багатоцільовими задачами, тому мають сенс дослідження щодо адекватного застосування методу рою часток і штучних імунних систем для їх вирішення. Зокрема, логістичний ризик може бути пов'язаний із виникненням деякої загрози у сфері логістики, проблема кількісного оцінювання якої може бути сформульована як оптимізаційна задача, а для її вирішення може бути використаний значенний вище інструментарій моделювання.

У логістичних системах інформаційно-мережної економіки єдиний центр управління може бути відсутній або його значущість може бути знівельована через те, що місце прийняття рішень, які будуть впливати на роботу логістичної системи загалом, буде кілька, тому також буде доцільним у подальшому дослідити можливість використання ідеології методу рою часток і штучних імунних систем як адекватного інструментарію стосовно децентралізованого управління логістичними системами.

У загальному випадку прояв логістичного ризику пов'язаний з відхиленнями від цілей функціонування логістичної системи (логістичного ланцюга постачання), серед яких можна виокремити: 1) цілі, які можуть бути або досягнуті, або не досягнуті взагалі (конкретний споживач, конкретний товар, узгоджене місце); 2) цілі, які можуть бути досягнуті повністю або частково (необхідна кількість та якість продукції, допустимий інтервал часу доставляння, допустимі витрати щодо доставляння продукції до споживача). У випадку недосягнення цілей першої групи (усіх разом або поодиночі) можна говорити про повний прояв відповідних ризиків щодо функціонування логістичної системи (логістичного ланцюга постачання). Щодо оцінювання логістичних ризиків цікавою є друга група цілей, для яких ступінь їх (цілей) досягнення (відхилення) можна визначити деяким діапазоном (інтервалом). Можна вважати, що чим більшими (суттєвішими) є такі відхилення, тим більшою мірою проявляється логістичний ризик.

Розглянемо формалізацію задачі моделювання логістичного ризику з використанням штучної імунної системи на умовному прикладі.

Припустимо, деякий логістичний оператор має такий великий масив власних даних щодо виконання постачання продукції, що можна говорити про проблему Великих Даних (Big Data). Проведені попередні дослідження показали, що цілі першої групи виконуються абсолютно, проте цілі

другої групи не завжди досягались повною мірою. Керівництво логістичного оператора намагається оцінити в цілому логістичний ризик, який проявляється у відхиленнях щодо досягнення цілей логістики другої групи від заданих нормативних значень і виявити раціональне постачання з урахуванням логістичного ризику, тобто таке існуюче з множини допустимого постачання, для якого рівень логістичного ризику є мінімальним.

Будемо вважати, що структура антитіла (можливого рішення задачі) містить, зокрема, такі параметри: доставлена кількість продукції, якість доставленої продукції, реальний інтервал часу доставляння, реальні витрати щодо доставляння продукції до споживача. Показник «якість доставленої продукції» є якісним, тому, наприклад, скориставшись вербально-числовою шкалою Харрінгтона, можна цьому показнику надати числове значення від 0 (продукцію доставлено в неналежному вигляді, є істотний брак тощо) до 1 (доставлена продукція абсолютно задовольняє вимоги споживача). Структура антигену може повністю повторювати структуру антитіла, а значення показників у цьому разі будуть відображати «ідеальні» (для керівництва логістичного оператора) значення показників. Наприклад, показник «якість доставленої продукції» буде 1, інтервал часу та витрати доставляння будуть мінімальними можливими. Тобто антиген відповідає ідеальному досягненню цілей функціонування логістичної системи.

Афінність відображає ступінь близькості (подібності) генетичних наборів антигену та антитіла, і якщо для кодування антигенів та антитіл обрано бінарне кодування, то вона (афінність) може бути оцінена з використанням відстані Хеммінга, у випадку дійсного кодування – евклідової відстані [25]. Чим відстань Хеммінга менша, тим афінність вища. Множина можливих рішень називається популяцією антитіл, а один такт циклу клонуальної селекції (процесу клонування та мутації копії антитіла випадковим чином) та визначення афінності називається епохою еволюції [25].

Використовуючи [23; 25], для нашого випадку можна сформулювати концептуальні положення та відповідні кроки алгоритму штучної імунної системи:

- 1) ініціалізація початкової популяції антитіл;
- 2) для заданого антигену визначається афінність антитіл популяції;
- 3) антитіла упорядковуються за значенням афінності з метою відбору для клонування антитіл;
- 4) створення популяції змінених антитіл за допомогою механізму репродукції та мутації. Участь у створенні нової популяції беруть антитіла, які на третьому кроці мають найвищу афінність. Чим вища афінність деякого антитіла, тим більше створюється його клонів, а ймовірність мутації в ньому є меншою;
- 5) повторення кроків 2, 3 та 4, доки не буде досягнуто відповідне задане значення критерію зупинки алгоритму штучної імунної системи;
- 6) якщо відповідне значення критерію зупинки досягнуто, то робота алгоритму зупиняється, і визначається рішення, яке буде відповідати антитілу з найвищою афінністю. Це рішення буде відповідати раціональному постачанню щодо логістичного ризику.

У разі кількох антигенів популяційний цикл (кроки 2, 3, 4, 5) потрібно виконувати для кожного із них.

Зазначений вище алгоритм штучної імунної системи є клонувальним алгоритмом відбору, проте в роботі штучної імунної системи також може використовуватись так званий негативний алгоритм відбору, або імунний мережевий алгоритм, чи дендритний алгоритм [25].

Висновки. Для сучасного етапу розвитку суспільства й економіки характерно накопичення великого обсягу даних в електронному виді, на підставі яких можна приймати глибоко обґрунтовані рішення, зокрема, у сфері управління логістичним ризиком. Проте вони (дані) вимагають розроблення та використання сучасного інструментарію їх здобуття, аналізу та моделювання. Таким інструментарієм можуть бути методи та моделі природних обчислень, за допомогою яких можна ефективно вирішувати складні, слабкоструктуровані або неструктуровані, багатокритеріальні та багаточільові задачі. Однією з переваг засобів природних обчислень у контексті проблеми Великих Даних є те, що час пошуку рішень може бути значно скорочений порівняно з традиційними засобами моделювання, зокрема, через багаточисельність процедури пошуку оптимального рішення.

Необхідно зазначити, що серед досліджених робіт майже відсутні роботи практичного характеру щодо застосування інструментарію природних обчислень у процесах моделювання логістичного ризику, окрім використання мурашиного алгоритму для оцінювання ризику в транспортній логістиці. У подальших дослідженнях щодо використання інструментарію природних обчислень у моделюванні логістичного ризику вважаємо за доцільне спочатку дослідити проблему формалізації конкретних задач управління логістичного ризику для конкретного інструментарію природних обчислень, а потім вирішувати проблему моделювання.

ЛІТЕРАТУРА

- Allianz Risk Barometer on Business Risks 2014. URL: http://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/Reports/Allianz-Risk-Barometer-2014_EN.pdf
- Allianz Risk Barometer 2015: Businesses exposed to increasing number of disruptive scenarios. URL: http://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/Reports/Allianz-Risk-Barometer-2015_EN.pdf
- Allianz Risk Barometer 2016. URL: <http://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/Reports/AllianzRiskBarometer2016.pdf>
- Вітлінський В. В., Скіцько В. І. Концептуальні засади моделювання та управління логістичним ризиком підприємства. *Проблеми економіки*. 2013. № 4. С. 246–253.
- Scheer A.-W. Industry 4.0: From vision to implementation // Whitepaper. 2015. № 9, August. URL: http://aws-institut.de/wp-content/uploads/2016/02/AWScheer_Whitepaper5_Industry-4-0-EN.pdf
- Hülsmann T. Logistics 4.0 and The Internet of Things // Workshop «Platforms for connected Factories of the Future». Brussels, 5–6 October, 2015. URL: http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/image/document/2015-44/8_huelsmann_11945.pdf
- Field A. Logistics get a lot smarter. 19 October, 2015. URL: <http://newsroom.cisco.com/feature-content?articleId=1722112>
- Macaulay J., Buckalew L., Chung G., Kückelhaus M. Internet of Things in Logistics: A collaborative report by DHL and Cisco on implications and use cases for the logistics industry // DHL Trend Research, Cisco Consulting Services. 2015. URL: http://www.dhl.com/content/dam/Local/Images/g0/New_aboutus/innovation/DHLTrendReport_Internet_of_things.pdf
- Григорак М. Ю. Теоретичні положення інтелектуально зорієнтованої логістики. *Бізнес Інформ*. 2015. № 2. С. 20–29.
- Schröder M., Indorf M., Kersten W. Industry 4.0 And Its Impact On Supply Chain Risk Management // 14th International Conference «Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat)». Riga, 15–18 October, 2014. URL: http://www.tsi.lv/sites/default/files/editor/science/Conferences/RelStat14/schroeder_indorf_kersten.pdf
- Дацко М. В., Цвір Л. Р. Побудова транспортних маршрутів у логістиці. *Науковий вісник Херсонського державно-го університету*. 2016. Вип. 16, ч. 4. С. 152–155.
- Куземин О., Даюб Я. Муравьиный алгоритм и учет риска в транспортной задаче. *Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал*. 2010. № 3 (74). С. 144–148.
- Вітлінський В. В. Моделювання економіки: навч. посіб. Київ: КНЕУ, 2003. 408 с.
- Вітлінський В. В., Великоіваненко Г. І. Ризикологія в економіці та підприємстві: монографія. Київ: КНЕУ. 2004. 480 с.
- Балабанова Л. В., Германчук А. М. Логістика: підручник. Львів: Магнолія 2006, 2013. 368 с.
- Субботін С. О., Олійник А. О., Олійник О. О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечітко логічних і нейромережних моделей: монографія/під. заг. ред. С. О. Субботіна. Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. 375 с.
- Ершов Н. М., Попова Н. Н. Лекція 2. Муравьиные алгоритмы. URL: <http://naturalmodels.blogspot.com/2015/03/2.html>
- Лотиш В. В., Лотиш Я. В. Програмна реалізація алгоритму бджіл для пошуку екстремума функції. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2012. № 8. С. 67–70.
- Ершов Н. М., Попова Н. Н. Лекція 3. Метод роя частиц. URL: <http://naturalmodels.blogspot.com/2015/03/3.html>
- Алгоритм роя частиц. URL: <https://habrahabr.ru/post/105639/>
- Баранюк В. В., Смирнова О. С. Детализация онтологической модели по роевым алгоритмам, основанным на поведении насекомых и животных. *International Journal of Open Information Technologies*. 2015. Т. 3, № 12. С. 18–27.
- Тітова В. Ю. Лекція №7 з предмету «Системи штучного інтелекту». Тема: Штучні імунні системи. URL: https://msn.khnu.km.ua/pluginfile.php/180787/mod_resource/content/2/ЛЕКЦІЯ№7.pdf
- Брюховецкий А. А., Скатков А. В. Применение моделей искусственных иммунных систем для решения задач многомерной оптимизации. *Оптимизация производных процессов: сб. науч. пр.* 2010. Вип. 12. С. 119–122.
- De Castro L. Timmis J. Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach. N.Y.: Press, 2002. 357 p.
- Кушнир Н. В., Кушнир А. В., Анацкая Е. В., Катышева П. А., Устинов К. Г. Искусственные иммунные системы: обзор и современное состояние. *Научные труды КубГУ*. 2015. № 12. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/714>

REFERENCES

- «Allianz Risk Barometer on Business Risks 2014» http://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/Reports/Allianz-Risk-Barometer-2014_EN.pdf
- «Allianz Risk Barometer 2015: Businesses exposed to increasing number of disruptive scenarios» http://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/Reports/Allianz-Risk-Barometer-2015_EN.pdf
- «Allianz Risk Barometer 2016» <http://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/Reports/AllianzRiskBarometer2016.pdf>
- «Algorithm roya chastits» [Particle swarm optimization algorithm]. <https://habrahabr.ru/post/105639/>
- Balabanova, L. V., and Hermanchuk, A. M. *Lohistyka* [Logistics]. Lviv: Mahnoliia 2006, 2013.
- Baranyuk, V. V., and Smirnova, O. S. «Detalizatsiya ontologicheskoy modeli po royevyim algoritmam, osnovannym na povedenii nasekomykh i zhivotnykh» [Detailing ontological model for swarm algorithms based on the behavior of insects and animals]. *International Journal of Open Information Technologies* vol. 3, no. 12 (2015): 18-27.
- Bryukhovetskiy, A. A., and Skatkov, A. V. «Primeneniye modely iskusstvennykh immunnykh system dlya resheniya zadach mnogomernoy optimizatsii» [The application of models of artificial immune systems for solving problems of multidimensional optimization]., no. 12 (2010): 119-122.
- Datsko, M. V., and Tsvir, L. R. «Pobudova transportnykh marshrutiv u lohistytsi» [Building of transport routes in logistics]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu* vol. 4, no. 16 (2016): 152-155.
- De Castro, L. Timmis J. *Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach*. N.Y.: Press, 2002.
- Field, A. «Logistics get a lot smarter» <http://newsroom.cisco.com/feature-content?articleId=1722112>
- Hulsmann, T. «Logistics 4.0 and The Internet of Things» Workshop «Platforms for connected Factories of the Future». http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/image/document/2015-44/8_huelsmann_11945.pdf
- Hryhorak, M. Yu. «Teoretychni polozhennia intelektualno zoriiantovanoi lohistyky» [Theoretical principles of the intellectually oriented logistics]. *Biznes Inform*, no. 2 (2015): 20-29.
- Kuzemin, O., and Dayub, Ya. «Muravinyy algoritm i uchety riska v transportnoy zadache» [Ant algorithm and accounting for risk in the transport task]. *Bionika intellekta*, no. 3(74) (2010): 144-148.
- Kushnir, N. V. et al. «Iskusstvennyye immunnyye sistemy: obzor i sovremennoye sostoyaniye» [Artificial immune systems: review and current status]. <http://ntk.kubstu.ru/file/714>
- Lotysh, V. V., and Lotysh, Ya. V. «Prohramna realizatsiia alhorytmu bdzhil dlia poshuku ekstremuma funktsii» [Software implementation of bees algorithm for finding the extremum of functions]. *Kompiuterno-intehrovani tekhnologii: osvita, nauka, vyrobnytstvo*, no. 8 (2012): 67-70.
- Macaulay, J. et al. «Internet of Things in Logistics: A collaborative report by DHL and Cisco on implications and use cases for the logistics industry» DHL Trend Research, Cisco Consulting Services. 2015. http://www.dhl.com/content/dam/Local/Images/g0/New_aboutus/innovation/DHLTrendReport_Internet_of_things.pdf
- Scheer, A.-W. «Industry 4.0: From vision to implementation» Whitepaper. 2015. http://aws-institut.de/wp-content/uploads/2016/02/AWScheer_Whitepaper5_Industry-4-0-EN.pdf
- Subbotin, S. O., Oliinyk, A. O., and Oliinyk, O. O. *Neiteratyvni, evoliutsiini ta multyahentni metody syntezy nechitko lohichnykh i neiromeznykh modelei* [Nethertown, evolutionary and multiagent methods of synthesis of fuzzy logic and neural network models]. Zaporizhzhia: ZNTU, 2009.
- Schroder, M. et al. «Industry 4.0 And Its Impact On Supply Chain Risk Management» 14th International Conference «Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat)». http://www.tsi.lv/sites/default/files/editor/science/Conferences/RelStat14/schroeder_indorf_kersten.pdf
- Titova, V. Yu. «Lektsiia № 7 z predmetu «Systemy shtuchnoho intelektu». Tema: Shtuchni imunni systemy» [Lecture 7 on the subject of «artificial intelligence Systems». Topic: Artificial immune systems]. https://msn.khnu.km.ua/pluginfile.php/180787/mod_resource/content/2/ЛЕКЦІЯ№7.pdf
- Vitlinskiy, V. V., and Skitsko, V. I. «Kontseptualni zasady modeliuвання ta upravlinnia lohistychnym ryzykom pidpriemstva» [Conceptual framework of modelling and managing logistics risk of an enterprise]. *Problemy ekonomiky*, no. 4 (2013): 246-253.